

다대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기술의 비교 분석¹

유제영^o 강경란 이동만
한국정보통신대학교 공학부
{jayyu, korykang, dlee}@icu.ac.kr

Analysis of Congestion Control Mechanisms for Many-to-many Reliable Multicast

Je-young Yu^o, Kyungran Kang, Dongman Lee
School of Engineering, Information and Communications University

요 약

멀티캐스트는 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로, 한번의 전송으로 동일한 데이터의 수신을 원하는 여러 수신자들이 동시에 받을 수 있도록 해줌으로써, 동일한 데이터를 여러 번 전송함으로써 발생하는 대역폭의 낭비를 줄인다. 그와는 달리 혼잡 제어 기술은 어떻게 대역폭을 여러 사람들이 공평하게 나누어 사용할 것이며, 대역폭의 이용률을 최대화할 것인가를 주된 연구 대상으로 한다. 특히, 혼잡 제어 기술은 인터넷에서 더욱 중요한 부분으로 혼잡 제어 메커니즘이 적용되어 있지 않은 플로우는 네트워크 사용의 불공평성과 혼잡으로 인한 네트워크 동작 중단(congestion collapse)을 초래한다[1]. 따라서 새로운 프로토콜을 제안하는 데 있어서 핵심 기능 중 하나는 효율적인 혼잡 제어 메커니즘의 유무이며, 그 혼잡 제어 기법이 인터넷 트래픽의 대부분을 차지하고 있는 TCP와 공평하게 대역폭을 나누어서 사용할 수 있는가가 프로토콜 평가의 중요한 기준 중 하나이다. 본 연구에서는 기존의 일대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기법들의 비교 분석을 통하여, 각각의 특성을 밝히며, 각 기법들의 특징을 비교함으로써 다대다 멀티캐스트 혼잡 제어를 위한 가장 적합한 방법을 알아본다.

1. 서 론

지금까지 네트워크 대역폭은 아주 빠른 속도로 증가해 왔으나, 수요의 증가는 대역폭의 증가 속도를 능가하고 있는 것이 현실이다. 이에 제한된 네트워크 대역폭을 어떻게 효율적으로 사용하고, 또 공평하게 나누어 이용할 것인가에 대한 다양한 연구가 이루어져오고 있으며, 현재까지도 컴퓨터 네트워크의 주된 연구 분야 중 하나로 자리 잡고 있다. 이러한 연구의 대표적인 예가 바로 멀티캐스트와 혼잡제어 기술이다. 멀티캐스트는 네트워크 대역폭을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로, 한번의 전송으로 동일한 데이터의 수신을 원하는 여러 수신자들이 동시에 받을 수 있도록 해줌으로써, 동일한 데이터를 여러 번 전송함으로써 발생하는 대역폭의 낭비를 줄인다. 그와는 달리 혼잡 제어 기술은 어떻게 대역폭을 여러 사람들은 공평하게 나누어 사용할 것이며, 대역폭의 이용률을 최대화할 것인가를 주된 연구 대상으로 한다. 특히, 혼잡 제어 기술은 인터넷 상에서 더욱 중요한 부분으로 혼잡 제어 메커니즘이 적용되어 있지 않은 플로우는 네트워크 사용의 불공평성과 혼잡으로 인한 네트워크 동작중단(congestion collapse)을 초래한다[1]. 따라서 새로운 프로토콜을 제안하는 데 있어서 핵심 기능 중 하나는 효율적인 혼잡 제어 메커니즘의 유무이며, 그 혼잡 제어 기법이 인터넷 트래픽의 대부분을 차지하고 있는 TCP와 공평하게 대역폭을 나누어서 사용할 수 있는가가 프로토콜 평가의 중요한 기준 중 하나이다.

신뢰적 멀티캐스트에서 역시 혼잡 제어 기법은 인터넷 상에 프로토콜을 배포하기 위한 필수 요소이며, 그에 따라 많

은 혼잡 제어 기법들이 제안되어 왔다. 대표적인 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기법들은 MTCP[2], TFMCC[3], TRAMCC[4], pgmcc[5], GSC[6] 등이 있다. 하지만, 지금까지 제안되어진 모든 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 메커니즘은 일대다 환경을 위한 것들이며 다대다 환경에 대해서는 고려되지 않았다.

다대다 신뢰적 멀티캐스트는 일반적인 일대다 경우와 상이한 특징을 보이고 있다. 일대다 신뢰적 멀티캐스트에서 각 노드(멤버)는 송신자, 혹은 수신자로써의 역할만을 하고 있지만, 다대다 멀티캐스트의 경우 각각의 노드는 송신자임과 동시에 같은 멀티캐스트 그룹 내의 다른 노드들(즉 다른 송신자들의) 수신자로써의 역할도 동시에 수행해야 한다. 즉, 그룹 내의 멤버의 수가 N 이라고 할 때, 하나의 노드가 가지는 오버헤드(Z)는 하나의 송신자로써의 오버헤드(X)와 다른 $(N-1)$ 개의 송신자의 수신자로써의 오버헤드($(N-1)*Y$)를 합친 값이 된다. 이로 인하여, 다대다 환경에서는 일대다 환경에서 적용되는 기법들의 직접적인 적용은 각 노드에서의 패킷 처리 오버헤드의 증가나, 불필요한 에러 복구 패킷을 포함한 제어 패킷의 증가로 인하여 네트워크 대역폭의 낭비를 초래할 수 있다. [7]에서는 이러한 사실에 대하여 상세하게 기술하고 있으며, 트리 기반의 유니캐스트 NACK/재전송을 사용하는 NAPP (HNAPPu2) 방식이 다대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 가장 효율적인 신뢰성 메커니즘이라는 것을 보이고 있다. 또한 효과적인 신뢰성을 지원하기 위한 논리적 트리의 생성 및 관리를 위하여 2 레이어 기반의 트리 관리 기법과 논리적 트리 추정 기법을 제안하고 있다.

¹ 본 연구는 과학기술부가 주관하는 국가지정연구실사업(NRL: M1-0104-00-0130)의 지원으로 수행되었음

² Hierarchical Nack Avoidance with Periodic Polling using Unicast NACK and Retransmission

표 1. 혼잡 제어 기술의 장단점 비교

	윈도우 기반	전송을 기반	전송을 제어기를 가진 윈도우 기반	대표자 기반
장점	<ul style="list-style-type: none"> * 단순 * RTT 측정이 불필요 * 신뢰성을 위한 버퍼관리와 쉽게 결합 가능 	<ul style="list-style-type: none"> * 윈도우기반 기법의 문제해결 * TCP-등식을 사용 경우, 부드러운 전송속도 조절 가능 	<ul style="list-style-type: none"> * 자체시간조절 기능으로 인한 급작스런 패킷 분출 문제 해결 * 혼잡 윈도우를 사용함으로써 정확한 RTT 측정의 의존 해결 	<ul style="list-style-type: none"> * 단순한 혼잡 제어 사용가능 * TCP와 동일한 혼잡 제어를 사용할 수 있으므로 TCP-친화성(TCP-friendliness)의 구현이 쉬움
단점	<ul style="list-style-type: none"> * 자체시간조절(self-clocking) 기능의 상실 * 급작스런 패킷 분출(burstness) 발생 * 급작스런 패킷 분출로 인한 연속적인 패킷 유실, 과도한 전송을 감소 발생 가능 	<ul style="list-style-type: none"> * 가장 혼잡이 심한 링크의 정확한 RTT 측정이 요구됨 * RTT 측정을 위한 별도의 메커니즘 필요 	<ul style="list-style-type: none"> * 급작스런 패킷 분출 문제가 아직 존재 * 파라미터가 너무 많음 <ul style="list-style-type: none"> - 윈도우의 크기 - 전송을 조절 파라미터 - 기타 	<ul style="list-style-type: none"> * 정확한 대표자의 선택 메커니즘이 필요 * 최적화된 대표자 변경 메커니즘이 필요 * 혼잡 제어만을 위한 별도의 피드백이 필요
예	MTCP	GSC (AIMD ¹), TFMCC (TCP-등식)	TRAMCC	pgmcc

다대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기술 역시 신뢰성 메커니즘과 조화되지 않는 혼잡 제어 기법을 사용할 경우, 별도의 오버헤드의 증가를 가져올 수 있으며, 그로 인하여 네트워크 혼잡에 대한 대응이 늦어지거나, 혼잡 제어의 목적인 공평한 대역폭 공유 및 효율적인 대역폭의 사용에 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 일대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기법들의 비교 분석을 통하여, 각각의 특성을 밝히며, 그 특성을 바탕으로 각 기법들이 다대다 신뢰적 멀티캐스트에 적용하는데 있어서 어떠한 문제들을 가지고 있는지에 대하여 보인다. 이러한 비교 분석을 위하여 네트워크 시뮬레이터 ns-2[10] 가 이용되었다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 기존 일대다 신뢰적 멀티캐스트 혼잡 제어 기법들을 각각이 사용하는 세부적인 메커니즘에 따라 분류하고, 각 메커니즘들의 장단점을 보인다. 3장에서는 각 메커니즘들을 실제 다대다 환경에서 신뢰성 메커니즘인 HNAPPu와 함께 사용했을 때의 결과를 추가되는 오버헤드, TCP 친화성 등을 기준으로 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 살펴본다. 마지막으로 4장에서 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

2. 일대다 신뢰적 멀티캐스트 혼잡 제어 기법의 비교

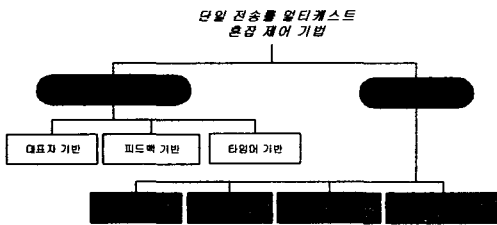


그림 1. 단일 전송을 혼잡 제어 기법의 분류 기준
 일대다 신뢰적 멀티캐스트 혼잡 제어 기법에는 크게 단일 전송을 혼잡 제어 기법과 다중 전송을 혼잡 제어 기법이 있

다. 단일 전송을 혼잡 제어 기법에서는 송신자가 수신자들로 부터의 피드백을 바탕으로 송신율을 조절하는 방법을 사용하며, 다중 전송을 혼잡 제어 기법에서는 각 수신자가 자신이 받을 수 있는 속도에 맞게 속도가 서로 다른 그룹에 가입/탈퇴함으로써 간접적으로 혼잡 제어를 수행한다[8]. 신뢰적 멀티캐스트에서의 다중 전송을 혼잡 제어 기법은 그 성격상 FEC 기법과 결합되어 사용되며, 단일 전송을 기법과는 다른 특성 및 요구사항들을 가지고 있으므로, 본 연구에서는 단일 전송을 혼잡 제어 기법만을 비교 대상으로 한다.

혼잡 제어 기법은 그림 1에서 볼 수 있듯이 크게 혼잡 인지 기법과 전송 속도 적용 기법의 두 부분으로 나눌 수 있다. 혼잡 인지 기법은 네트워크의 상태를 알아내는 방법으로 일반적으로 수신자로부터의 피드백을 이용하거나, 타이머를 이용하여 수신자의 패킷 유실이나, RTT(Round Trip Time)를 측정함으로써 이루어진다. 전송 속도 적용은 크게 혼잡 윈도우를 이용하는 하는 방법과 전송율을 직접 제어하는 방법이 사용되며, 그 두 기법을 절충한 전송을 제어기를 가진 윈도우 기반 방법도 사용되고 있다. 전송한 바와 같이 다대다 신뢰적 멀티캐스트에서는 HNAPPu라는 신뢰성 메커니즘 내에 이미 피드백 메커니즘이 포함되어 있으므로, 타이머 기반의 혼잡 인지 기법은 비교 대상에서 제외한다.

3. 일대다 신뢰적 멀티캐스트 혼잡 제어 기법의 다대다 환경에의 적용

각각의 혼잡 제어 기법을 HNAPPu에 적용시켜 시뮬레이션을 통하여 관찰된 결과는 표 2에서와 같다. 윈도우기반 기법의 경우 추가적인 오버헤드 없이 혼잡제어기법을 구현할 수 있다는 장점이 있으나, TCP 친화성의 구현이 어렵다. 그 원인은 혼잡 윈도우의 변경이 TCP에 비하여 드물게 발생(ACK윈도우마다 한번)하여, 혼잡 상태를 덜 민감하게 인식하며, 그에 따른 전송율 변화가 느리기 때문이다. 또한 자체 시간조절 기능의 부재로 인한 급작스런 패킷 분출로 인하여 패킷 분실이 많이 발생하게 됨으로 인하여 실제 전송한 데이터의 양도 급격히 줄어드는 현상(congestion collapse)이 나타나기도 한다.

표 2. 각각의 혼잡 제어 기법을 HNAPPu에 적용한 결과

	TCP 친화성	추가적인 오버헤드	다대다 환경에서의 확장성	복잡성	전송율의 변경형태	RTT 의존성
혼잡 제어 없음	없음	없음	낮음	최소	.	없음
윈도우기반	제한된 TCP 친화성	없음	낮음	작음	전송율변동 매우 큼	없음
전송율제어 윈도우기반	중간	없음	좋음	중간	톱니모양	없음
전송율기반	좋음	높음	낮음	높음	부드러움	있음
대표자기반	좋음	높음	낮음	높음	톱니모양	있음

전송율 기반 방식과 대표자 기반 방식은 RTT의 의존성으로 인하여, HNAPPu와 같이 트리기반 메커니즘의 경우, RTT를 측정하기 위한 별도의 메커니즘이 필요하다. 그에 따라, HNAPPu에 존재하는 피드백 메커니즘을 혼잡제어를 위하여 사용할 수 없으므로 인하여 추가적인 오버헤드가 발생한다. 세션의 크기가 증가함에 따라 함께 송신자의 수가 증가하므로, 하나의 노드(멤버)가 처리해야하는 오버헤드는 세션의 크기가 늘어남에 비례하여 증가하게 된다. 하지만 이 두 방식은 가장 효과적인 TCP 친화성을 지원하고 있으며, 특히 전송율 기반 방식의 경우, TCP의 문제중 하나인 전송율의 변동폭을 줄이면서 TCP 친화성을 제공한다.

전송율 제어 윈도우 기반은 HNAPPu의 피드백 메커니즘만을 이용하여 추가적인 오버헤드 없이 TCP 친화성을 제공할 수 있지만, 다양한 작동 파라미터들(최소, 최대 전송율, 윈도우의 크기, AIMD 변환율 정책, 전송율 변경 정책등)과 토폴로지의 선택에 따라 상이한 결과가 나타나며, 이러한 작동 파라미터들은 네트워크 토폴로지에도 역시 영향을 받는다. 본 시뮬레이션의 상세한 결과는 [9]에 기술되어 있다.

4. 결론 및 향후 연구 방향

다대다 신뢰적 멀티캐스트의 특성 및 신뢰성 메커니즘과 복구 트리의 생성 및 관리에 대하여는 [7]에서 이미 잘 분석되어 있으며, 프로토콜 제안까지 되어있다. 하지만, 다대다 환경에서의 혼잡 제어에 관하여는 현재까지 심각하게 연구되거나 분석되지 않아왔다. 본 연구에서는 효율적 다대다 신뢰적 멀티캐스트를 위한 혼잡 제어 기법을 제안하기에 앞서 기존 혼잡 제어 기법의 다대다 환경에서의 직접적인 적용에 대한 문제점을 분석하고, 다대다 환경에서의 각 기법들의 장단점에 대하여 논의하였다.

또한 시뮬레이션을 통하여 각각의 혼잡제어 기법을 다대다 신뢰적 멀티캐스트에서 가장 효율적이라고 검증된 HNAPPu에 적용했을 때, TCP 친화성, 추가적인 오버헤드, 확장성, 복잡성, 전송율의 변경형태, RTT 의존성 등을 측정하여 그 결과를 살펴보았다. 그 결과를 살펴보면, 윈도우 기반 방식은 최소한의 오버헤드와 복잡성을 가지고 있으나, TCP 친화성의 구현에 한계가 있으며, 전송율 기반과 대표자 기반 방식은 가장 좋은 TCP 친화성을 보여주고 있으나, 추가적인 오버헤드의 필요로 인하여, 다대다 환경에서의 확장성에 어려움이 있다. 또한, 신뢰성을 위한 피드백 처리와 혼잡제어를 위한 패드백 처리가 분리됨으로 인하여 프로토콜 자체의 복잡성이 높아진다. 그에 비해 전송율 제어 윈도우 기반 방식은 오버헤드를 최소화하며, TCP 친화성을 달성할 수 있으나, 네트워크 환경과 작동 파라미터들에 따라 TCP 친화성의

달성 정도가 달라지며, 적절한 작동 파라미터들을 찾는 것이 어렵다.

따라서 다대다 환경에서의 효율적인 혼잡제어 기법을 개발하기 위해서는 전송율제어 윈도우 기반의 경우 적합한 작동 파라미터의 결정법, 그리고 전송율 기반이나 대표자 기반의 경우, 오버헤드의 원인인 RTT 측정을 효율적으로 할 수 있는 기법에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 이러한 연구를 바탕으로 하여, 다대다 신뢰적 멀티캐스트에서의 효율적인 혼잡 제어 기법의 제안이 이 연구의 최종 목표이다.

5. 참고 문헌

- [1] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet," IEEE/ACM Transactions on Networking, Aug. 1999
- [2] I. Rhee, N. Balaguru, and G. N. Rouskas, "MTCP: Scalable TCP-like Congestion Control for Reliable Multicast," INFOCOM 99, Mar. 1999
- [3] J. Widmer and M. Handley, Extending Equation-Based Congestion Control to Multicast Applications, ACM SIGCOMM 2001
- [4] D. M. Chiu, M. Kadansky, J. Provino, J. Wesley, H. Bischof, and H. Zhu, "A Congestion Control Algorithm for Tree-based Reliable Multicast Protocols, INFOCOM 2002, Jul. 2002
- [5] L. Rizzo, "pgmcc: A TCP-friendly Single-rate Multicast Congestion Control Scheme," ACM SIGCOMM, Aug. 2000
- [6] N. Natu, P. Rajagopal, and S. Kalyanaraman, "GSC: A Generic Source-based Congestion Control Algorithm for Reliable Multicast," Journal of Computer Communications, Mar. 2001
- [7] W. Yoon, D. Lee, H.Y. Youn, and S. Lee, "A Combined Group/Tree Approach for Many-to-many Reliable Multicast," INFOCOM 2002, Jun. 2002
- [8] Michael Luby, Vivek K Goyal, Simon Skaria, Gavin B. Horn, "Wave and Equation Based Rate Control Using Multicast Round Trip Time," Proc. of ACM SIGCOMM'02, August 2002.
- [9] J. Yu, K. Kang, and D. Lee, "Comparison of Reliable Multicast Congestion Control Schemes for Many-to-many Reliable Multicast", Technical Report, <http://cds.icu.ac.kr>
- [10] Network Simulator 2 (ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>